Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 2, May-June 2024, p. 323-337

Improving the Texture of Shrimp Nugget Produced from Surimi in Combination with Carrageenan, Alginate and Xanthan

B. Shabanpour[1*], P. Pourashouri[2], A. Jamshidi[3], K. Rahmanifarah[4], A. Vejdan Taleshmikaeil[5]

1, 2 and 5- Professor, Associate Professor and M.Sc Gratuated, Department of Seafood Processing, Faculty of Fisheries and Environment Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shabanpour@gau.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, and Ph.D. Gratuated, Department of Seafood Processing, Faculty of Fisheries and Environment Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- Assistant Professor, Department of Pathobiology and Quality Control, Artemia and Aquaculture Research Institute, Urmia University, Urmia, West Azerbaijan, Iran

Received: 04.07.2023 Revised: 11.11.2023 Accepted: 12.11.2023 Available Online: 13.11.2023	**How to cite this article:** Shabanpour, B., Pourashouri, P., Jamshidi, A., Rahmanifarah, K., & Vejdan Taleshmikaeil, A. (2024). Improving the texture of shrimp nugget produced from surimi in combination with carrageenan, alginate and xanthan. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *20*(2), 323-337. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.83269.1268

Introduction

Consumption of ready-to-eat products especially seafood, has become very popular based on the lifestyle during these years. Battered and breaded products are highly acceptable due to their attractive appearance and unique taste. Shrimp and shrimp products are one of the most popular seafood products in many countries because of their unique flavor, nutritional value and texture. The interactions of proteins with other ingredients can play a critical role in the structure of processed foods. Protein-polysaccharide interactions provide functional properties in foods especially when proteins are the main ingredients, such as processed shrimp products without affecting the original flavor of the food. The use of gelling properties of carbohydrates in the formulation of food products is increasingly growing. The wide variety of hydrocolloids have been examined to modify the mechanical, textural and functional properties of shrimp products. In this regard, application of carrageenan, xanthan, and alginate have been reported to improve the physicochemical and sensory attributes of shrimp products. In the present study, surimi was produced and used in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan gums in order to simulate breaded shrimp and produce shrimp nuggets with a texture similar to battered and breaded shrimp.

Materials and Methods

In the first step, surimi was prepared from silver carp fillets. In the next step, shrimp nuggets were produced from obtained surimi in combination with additives (including starch, salt, garlic, and spices) and different percentages (0.5, 1, 1.5 and 2%) of carrageenan, alginate and xanthan gums. The prepared mixture was kept at 35 °C for 1 hour and then battered and breaded after molding. Physical (expressible water, product yield, and shrinkage), chemical (moisture, fat, and pH), color, texture, and sensory analysis were performed on several samples of shrimp nuggets (containing different percentages of carrageenan, alginate, and xanthan gums) in comparison with the control sample (battered and breaded shrimp immersed in salt and polyphosphate).

Results and Discussion

Based on the results, the amount of shrinkage decreased in all samples containing gums in comparison with

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.83269.1268

the control ($p < 0.05$). Shrimp nuggets containing xanthan and alginate showed a lower amount of fat in comparison with the control and the samples containing carrageenan ($p < 0.05$). The highest amount of pH value observed in the control sample, and the sample containing 1.5 and 2 % alginate showed the lowest amounts of pH. The shrimp nuggets containing 2 % alginate demonstrated the highest amounts of water holding capacity.However, the other samples did not show significant differences with the control ($p > 0.05$). There were no significant differences between the control and shrimp nuggets containing gums in terms of product yield ($p > 0.05$). Shrimp nuggets containing 2 % xanthan and the control showed the highest and lowest amounts of brightness, respectively. The highest value of adhesion observed in shrimp nuggets containing 2 % alginate and the control.The lowest amounts of adhesion were observed in shrimp nuggets containing 2 % xanthan, 0.5 % alginate, 1 and 2 % carrageenan ($p < 0.05$). Samples containing 1% carrageenan showed the highest scores of the sensory attributes of taste, smell, texture and overall acceptance, as same as the control ($p > 0.05$).

Conclusion

Hydrocolloid additions were found to be significantly affecting the quality parameters including fat content, pH value, shrinkage and texture of produced shrimp nuggets. Therefore, it seems that producing shrimp nuggets containing 1 % carrageenan showed the nearest physical, chemical, and sensory characteristics to the control (battered and breaded shrimp), and this sample can be used as alternative of battered and breaded shrimp.

Keywords: Breaded shrimp, Shrimp nugget, Gum, Sensory analysis

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۳، ص. ۳۳۷-۳۲۳

بهبود بافت ناگت میگوی تولیدی از سوریمی ماهی در ترکیب با کاراژینان، آلژینات و زانتان

بهاره شعبان‌پور[۱*]- پرستو پورعاشوری[۲]- انیسه جمشیدی[۳]- کاوه رحمانی‌فرح[۴]- اکبر وجدان طالشمیکائیل[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

چکیده

در تحقیق حاضر از سوریمی قوام‌یافته در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان به‌منظور شبیه‌سازی میگو سوخاری و تولید ناگت میگو با بافتی مشابه میگو سوخاری استفاده شد. ناگت‌های میگو از ترکیب سوریمی حاصل از ماهی کپور نقره‌ای در ترکیب با افزودنی‌ها و درصدهای مختلف (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲) کاراژینان، آلژینات و زانتان تهیه شدند و پس از قوام‌یابی در دمای $35^{\circ}C$ تحت فرایند سوخاری شدن قرار گرفتند. آزمایشات فیزیکی، شیمیایی، رنگ‌سنجی و حسی بر تیمارهای تولیدی در مقایسه با تیمار شاهد (میگو سوخاری) انجام گرفت. براساس نتایج حاصل، مقدار چروکیدگی در کلیه‌ی تیمارها در مقایسه با شاهد کاهش یافت ($p < ۰/۰۵$). تیمارهای حاوی زانتان و آلژینات مقدار چربی کمتری را نسبت به تیمار شاهد و تیمارهای حاوی کاراژینان نشان دادند ($p < ۰/۰۵$). بالاترین مقدار pH در تیمار شاهد و بالاترین مقدار ظرفیت نگهداری آب در تیمار حاوی ۲ درصد آلژینات مشاهده شد. بالاترین مقادیر شاخص‌های بافت‌سنجی شامل سختی، فنریت و چسبندگی به‌ترتیب در تیمارهای شاهد، تیمارهای حاوی کاراژینان و تیمارهای حاوی آلژینات مشاهده شدند ($p < ۰/۰۵$). تیمار حاوی ۱ درصد کاراژینان بالاترین مقادیر شاخص‌های حسی طعم، بو، بافت و پذیرش کلی را دریافت کرد ولی در مقایسه با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حسی، سوریمی، صمغ، میگو سوخاری، ناگت میگو

مقدمه

افزایش تقاضای مصرف کنندگان نسبت به محصولات آماده یکی از روندهای رو به افزایش در مصرف غذاهای دریایی است. یکی از راه‌حل‌های استراتژیک در افزایش در دسترس بودن این محصولات طبق عادت‌های امروز افراد جامعه، وجود غذاهای آماده مصرف است (Pourashouri *et al*., 2013; 2020; 2022). در میان غذاهای آماده مصرف، گوشت ماهی به‌عنوان منبع غنی از پروتئین با قابلیت هضم آسان و ارزش بیولوژیکی بالا که قادر است ویتامین‌ها، مواد معدنی و اسیدهای چرب مفید را در دسترس قرار دهد، جایگاه خاصی پیدا کرده است. این منابع می‌توانند در تولید فراورده‌های با ارزش افزوده مورد استفاده قرار گیرند (Hannan *et al*., 2022). تکنولوژی شناخته شده در جهت استفاده از ماهیان و تولید فرآورده‌های با ارزش افزوده، تولید مینس و سوریمی ماهی است که بعنوان فراورده‌های حد واسط برای تولید محصولات با ارزش افزوده و آماده مصرف مانند سوسیس ماهی، کیک و کلوچه ماهی، ناگت و فراورده‌های شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرند (Yingchutrakul *et al*., 2022). از میان ماهیان سفید گوشت، ماهیان پرورشی مانند کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) را می‌توان نام برد که بسیار ارزان‌تر از ماهیان دریایی بوده

۱، ۲ و ۵- استاد، دانشیار و فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: shabanpour@gau.ac.ir)
۳- استادیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و فارغ التحصیل دکتری گروه فرآوری محصولات شیلاتی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- استادیار پژوهشکده تحقیقات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.83269.1268

و از نظر اقتصادی استفاده از آن‌ها به‌عنوان ماده اولیه مقرون به صرفه می‌باشد (Li *et al*., 2021).

پس از ماهی در غذاهای دریایی، نرمتنانی مانند لابستر، میگو و خرچنگ به‌دلیل طعم منحصر به‌فرد و ویژگی‌های پخت مناسب بالاترین میزان صید را دارند. ویژگی‌هایی مانند طعم ملایم (فاقد بوی تند ماهی)، راحتی آماده‌سازی، رنگ سفید و کیفیت پایدار باعث ترجیح میگو نسبت به سایر غذاهای دریایی شده است. میگو یکی از غذاهای اصلی دریایی است که در نقاط مختلفی از جهان استفاده می‌شود (Gulzar & Benjakul, 2020). اگرچه تقاضای بالایی برای مصرف میگو وجود دارد اما به‌دلیل صید بی‌رویه، در دسترس بودن آن، دچار کاهش شده است. در این زمینه، غذاهای دریایی شبیه‌سازی شده به عنوان محصولات شبیه‌سازی شده با توجه به قیمت پایین آن محبوبیت زیادی یافته‌اند. محصولات شبیه‌سازی شده از منابع پروتئینی ماهی با قیمت پایین یا سوریمی تهیه و به‌صورت یک ماده غذایی شبیه‌سازی شده لوکس با قیمت بالا طراحی می‌شود (Sun & Holley, 2011; Hannan *et al*., 2022).

ناگت میگو محصولی کاملاً شبیه میگو سوخاری است که از سوریمی همراه با دیگر ترکیبات مناسب برای تعدیل بافت و اصلاح مزه تولید می‌شود. این فراورده آماده مصرف، دارای طعم، بافت و ظاهری شبیه میگوی حقیقی بوده که از طریق استخراج پروتئین‌های میوفیبریل، حل کردن آن‌ها در نمک، افزودن نشاسته و طعم دهنده، اعمال حرارت قوام‌یابی، قالب‌گیری و پخت نهایی تولید می‌گردد. مهم‌ترین خاصیت سوریمی توانایی تشکیل ژل است. ژل حالت واسطه‌ای بین جامد و مایع است که در ساختمان آن رشته‌های پروتئینی از طریق ارتباط متقاطع، یک شبکه پیوسته ایجاد می‌کنند (Sun & Holley, 2011). تولید ژل از پروتئین ماهی مهم‌ترین مرحله تشکیل بافت مناسب برای تولید بسیاری از غذاهای دریایی است. خواص کاربردی، بخصوص استحکام ژل و ظرفیت نگهداری آب، توسط شرایط فیزیکی مانند غلظت پروتئین، قدرت یونی، دما و دوره حرارت‌دهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Chen *et al*., 2021). تشکیل شبکه ژلی ناشی از حرارت که به شدت تحت تأثیر دما و زمان حرارت‌دهی می‌باشد، روی خواص بافتی پروتئین‌های غذایی و رنگ ژل سوریمی اثر دارد.

ترکیباتی که به بافت سوریمی افزوده می‌شوند باید اثر مثبتی در ویژگی‌های بافتی و رطوبتی محصول داشته باشند. در تحقیقی اثر افزودن فیبرهای خوراکی گندم و جودوسر را بر کیفیت و جلوگیری از تغییر شکل فرآورده تقلیدی میگو تولیدی از سوریمی ماهی فیتوفاگ مورد بررسی قرار دادند. این محققان نشان دادند افزودن ۶ درصد فیبر جودوسر در مقایسه با فیبر گندم بر خواص بافتی و تغییر شکل ناشی از سرخ شدن ناگت میگوی شبیه‌سازی شده اثر مطلوبی داشت (Heydari *et al*., 2016). از عمده‌ترین ترکیبات دیگری که در محصولات ارزش افزوده استفاده می‌شوند هیدروکلوئیدهایی هستند که از طریق برهمکنش با پروتئین‌های میوفیبریل و اثر بر شبکه‌ی ژلی سوریمی، باعث حفظ ظرفیت نگهداری آب و کمک به بهبود کیفیت ژل سوریمی می‌شوند (Núñez-Flores *et al*., 2018). کاراژینان پلی‌ساکاریدی است که از یک نوع جلبک (*Chondrus crispus*) استخراج می‌شود و به جهت اثرات تثبیت‌کنندگی و ساختار منحصر به فردی که دارد، همانند جانشین‌های چربی به‌طور گسترده‌ای در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از کاراژینان به میزان ۰/۱ تا ۰/۵ درصد در فرمولاسیون فراورده‌های شبیه‌سازی شده بر پایه سوریمی استفاده می‌شود (Emo *et al*., 2013). آلژینات هیدروکلوئیدی به رنگ سفید تا قهوه‌ای مایل به زرد است که از جلبک‌های دریایی قهوه‌ای بدست می‌آید و به‌عنوان یک افزودنی در غذاهای دریایی حاصل از سوریمی استفاده می‌شود. آلژینات دارای خواصی مانند قوام‌بخشی، پایدارکنندگی، تعلیق، تولید ژل و تثبیت امولسیون بوده و جهت اهداف مختلف در غذاها، مواد دارویی و سایر محصولات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hauzoukim *et al*., 2019). در بررسی اثر استفاده از آلژینات بر خصوصیات بافتی ژل سوریمی مشخص شد که افزودن آلژینات سبب افزایش توانایی نگهداری آب و سختی ژل می‌شود اما از چسبندگی ژل می‌کاهد (Galus *et al*., 2013). صمغ زانتان پلی‌ساکارید خارج سلولی است که توسط انواعی از باکتری زانتوموناس متعلق به خانواده Pseudomonadaceae تولید می‌شود. زانتان علی‌رغم وزن مولکولی زیاد به سادگی در آب سرد و گرم حل می‌شود و حتی در مقادیر کم، محلول بسیار غلیظی ایجاد می‌کند. تغییرات pH اثر چندانی بر ویسکوزیته ایجاد شده توسط زانتان ندارد، در نتیجه می‌توان از آن در بسیاری از سیستم‌های غذایی استفاده کرد (Hasanpour *et al*., 2012). از این رو براساس نتایج تحقیقات دیگر محققان، صمغ‌های کاراژینان، آلژینات و زانتان به‌دلیل ویژگی‌های عملگری مناسب با هدف تولید ناگت میگو، با بافتی مشابه میگو سوخاری با استفاده از سوریمی قوام‌یافته در ترکیب با درصدهای مختلف صمغ‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. در این راستا، پس از تولید ناگت‌های میگوی شبیه‌سازی شده و انجام آزمایشات مربوطه، بهترین نوع هیدروکلوئید و مؤثرترین درصد آن در ترکیب با سوریمی ماهی کپور نقره‌ای جهت تولید ناگت میگو انتخاب می‌گردد.

مواد و روش‌ها

مواد مصرفی

جهت تولید تیمارهای مختلف میگو سوخاری، میگوی تازه از مزرعه پرورش میگو و ماهی کپور نقره‌ای تازه از بازار ماهی فروشان خریداری

شده و با یخ‌پوشی مناسب به آزمایشگاه فرآوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. آرد گندم، آرد گلوتن، نشاسته، بکینگ‌پودر و نمک از بازار محلی تهیه شدند. آرد سوخاری از شرکت شیرین پارت ایرانیان خریداری شد. مواد شیمیایی با درجه آزمایشگاهی از شرکت سیگما (Darmstadt, Germany) تهیه شدند.

تهیه سوریمی

از ماهی‌های کپور نقره‌ای پس از شستشو، سرزنی و تخلیه امعاء و احشا، فیله تهیه شده و پس از جداسازی گوشت‌های تیره و شستشوی فیله‌های ماهی، پوست و استخوان فیله‌های حاصل توسط دستگاه استخوان‌گیر جداسازی شد. از مینس ماهی حاصل پس از سه مرحله شستشو با آب سرد، سوریمی تولید گردید. به‌منظور تهیه سوریمی، گوشت چرخ شده طی سه سیکل ۱۰ دقیقه‌ای شستشو شد (Shabanpour *et al*., 2007). برای محاسبه دقیق میزان آب مورد نیاز برای شستشو، از دو ظرف استفاده شد. ظرف فلزی کوچک‌تر، حاوی گوشت چرخ شده و آب ۴ درجه سانتی‌گراد به نسبت یک به سه درون ظرف بزرگ‌تر حاوی مخلوط آب و یخ با دمای ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. گوشت چرخ شده و آب به آرامی به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شدند سپس مخلوط حاصل با استفاده از پارچه تنظیف دو لایه آبگیری شد. مرحله دوم و سوم شستشو نیز مانند مرحله اول تکرار شد، با این تفاوت که در مرحله‌ی سوم جهت آبگیری بهتر، از آب نمک ۰/۳ درصد استفاده شد. سوریمی حاصل در زیپ‌کیپ بسته‌بندی شد و تا روز تولید ناگت میگو در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

تولید میگوی سوخاری و ناگت میگو

از میگوها برای تولید میگوی کامل سوخاری شده استفاده شد. میگوها پس از پاکسازی در محلول نمکی حاوی ۱/۵ گرم در لیتر نمک و تری‌پلی‌فسفات با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از شستشو با آب سرد و چکاندن آب اضافی به‌مدت ۵ دقیقه، میگوها به‌ترتیب تحت فرایند آردزنی اولیه، غوطه‌وری در لعاب و پوشش‌دهی با آرد سوخاری قرار گرفتند. فرمول لعاب مورد استفاده شامل ۵۵ درصد آرد گندم، ۳۰ درصد نشاسته، ۱۰ درصد گلوتن، ۲ درصد بیکینگ پودر و ۳ درصد نمک بود که با نسبت یک مواد خشک و یک و نیم آب (۱۰ درجه سانتی‌گراد) مخلوط شد (Jamshidi & Shabanpour, 2014).

جهت تولید ناگت میگو، سوریمی ماهی کپور نقره‌ای با ترکیباتی مانند نشاسته (۷ درصد)، نمک (۲/۵ درصد)، سیر (۰/۵ درصد)، ادویه‌جات (فلفل قرمز ۰/۱ درصد و جوز هندی ۰/۱ درصد)، پودر میگوی لیوفلیزه (۱ درصد) و صمغ‌های کاراژینان، آلژینات و زانتان با نسبت‌های مختلف ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد ترکیب گردید. خمیر حاصل در قالب‌های فلزی مستطیل شکل در اندازه ۱/۵×۵×۱۳ قالب‌گیری شد و در دمای ۳۵ °C به مدت ۱ ساعت جهت قوام‌یابی قرار داده شد. پس از طی زمان قوام‌یابی، خمیر حاصل با استفاده از قالب میگویی شکل، قالب‌گیری شد و قطعات حاصل مانند تیمار شاهد تحت مراحل پوشش‌دهی و سوخاری کردن قرار گرفتند.

پس از کامل شدن پوسته سوخاری، میگوهای سوخاری و ناگت‌های میگوی تولیدی با استفاده از روغن گیاهی آفتابگردان (مخصوص سرخ کردن، اویلا-ایران) به‌مدت ۳۰ ثانیه در سرخ‌کن (Moulinex Toucan ADR2) تحت دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌صورت مقدماتی به روش سرخ‌کردن عمیق سرخ شده و پس از خنک شدن در دمای محیط، تکرارهای هر تیمار جداگانه درون بسته‌های زیپ‌کیپ بسته‌بندی شده و در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منجمد گردیدند.

به‌منظور انجام آزمایشات فیزیکی، بافت‌سنجی، رنگ‌سنجی و حسی، از تیمارهای مختلف به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شده و پس از انجمادزدایی در دمای محیط، آزمایشات مربوطه در سه تکرار بر روی آن‌ها صورت گرفت. برای آنالیز حسی، میگوهای سوخاری در روغن آفتابگردان به‌مدت ۳ دقیقه در سرخ‌کن (Moulinex Toucan ADR2) سرخ شدند.

اندازه‌گیری مقادیر رطوبت و چربی

مقدار رطوبت نمونه‌ها براساس اختلاف وزن اولیه (بر حسب وزن خشک) و وزن ثانویه پس از خشک کردن در آون (WT-binder 7200, Germany) با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد پس از ۲۴ ساعت، محاسبه شد. از دستگاه سوکسله (Gerhardt, Germany) برای اندازه‌گیری مقدار چربی نمونه‌ها استفاده شد. استخراج چربی با استفاده از پترولیوم اتر و طی ۲/۵ ساعت انجام شد (AOAC, 2000).

اندازه‌گیری pH

مقدار ۵ گرم از نمونه‌های سرخ شده در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر هموژنیزه شد و مقدار pH نمونه‌ها با استفاده از pHمتر (Metrohm model 713) اندازه‌گیری شد.

مقدار رطوبت تحت فشار

مقدار ۵ گرم نمونه (Wi) درون کاغذ فیلتر پیچیده شده و داخل لوله فالکون (۵۰ میلی‌لیتری) قرار داده شد. پس از سانتریفیوژ (Eppendorf centrifuge 5810 R, Germany) در دور ۱۰۰۰۰ g× طی ۱۵ دقیقه، وزن ثانویه نمونه‌ها (Wf) اندازه‌گیری شد و مقدار

رطوبت تحت فشار بر اساس معادله (۱) محاسبه شد (Ramirez *et al.*, 2010):

$$\text{آب قابل بیان } (\%) = \left(\frac{Wi-Wf}{Wi}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

اندازه‌گیری بازده محصول و مقدار چروکیدگی

برای محاسبه‌ی بازده محصول، نمونه‌های سرخ شده مقدماتی توزین شده و وزن اولیه (A) آن‌ها یادداشت شد. پس از فرآیند سرخ کردن نهایی، نمونه‌ها مجدد (B) توزین شدند و براساس معادله (۲) مقدار بازده محصول محاسبه شد:

$$\text{بازده محصول } (\%) = \left(\frac{B}{A}\right) \times 100 \qquad (۲)$$

قطر (D) و ضخامت (T) هر نمونه قبل از سرخ کردن (A) و پس از فرآیند سرخ کردن نهایی (B) اندازه‌گیری شد و میزان چروکیدگی طبق معادله (۳) محاسبه شد (Jamshidi & Shabanpour, 2014):

$$\text{چروکیدگی } (\%) = \left(\frac{(TB-TA)+(DB-DA)}{(TB+DB)}\right) \times 100 \qquad (۳)$$

رنگ‌سنجی

از دستگاه Lovibond (CAM-system, England 500, Amesbury, UK) برای اندازه‌گیری پارامترهای رنگ‌سنجی استفاده شد. متغیر L^* برای بیان شاخص روشنایی از ۰ (بعد سیاهی) تا ۱۰۰ (بعد سفیدی)، شاخص a^* برای بیان بعد قرمزی-سبزی ($+a^*$ نشان‌دهنده قرمزتر و $-a^*$ نشان‌دهنده سبزتر) و شاخص b^* برای بیان بعد زرد-آبی ($+b^*$ نشان‌دهنده زردتر و $-b^*$ نشان‌دهنده آبی‌تر) می‌باشد (Nino *et al.*, 2022).

بافت‌سنجی

بافت‌سنجی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Texture analyzer (Brook field) LFRA 4500 انجام شد. جهت این آزمایش نمونه‌ها توسط پروب چاقویی شکل (TA7) یک بار با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه برش خوردند. بار وارد شده[1] ۲۵ kg، نقطه شروع[2] ۵ g و نقطه هدف[3] ۲۰ میلی‌متر بود. پارامترهایی که تعیین شد شامل چسبندگی، تغییر شکل، فنریت و سختی بودند (Huda *et al.*, 2013).

آنالیز حسی

به‌منظور ارزیابی شاخص‌های شکل ظاهری، طعم، بو، بافت، ظاهر و پذیرش کلی ناگت‌های میگو تولیدی، به‌مدت ۳ دقیقه در سرخ‌کن تحت دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در روغن آفتابگردان سرخ شدند و توسط ۱۵ نفر از دانشجویان دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (رده سنی ۲۵ تا ۳۰ سال) مورد ارزیابی قرار گرفتند. با استفاده از آزمون هدونیک ۹ مرتبه‌ای، ارزیابان به شاخص‌های حسی براساس جداول ارزیابی، از یک تا نه امتیاز دادند (بی‌نهایت بد: ۱، بی‌نهایت عالی: ۹) (Nino *et al.*, 2022).

آنالیز آماری

جهت مقایسه تیمارها با تیمار شاهد، از آنالیز یک‌طرفه (one way ANOVA) با کمک نرم‌افزار SPSS استفاده شد و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال $\alpha = ۰/۰۵$ انجام گرفت. برای آنالیز داده‌های حسی از آزمون‌های ناپارامتری کروسکال‌والیس (برای مقایسه چند گروه) و من‌ویتنی (برای مقایسه دو گروه با یکدیگر) استفاده گردید. نتایج داده‌ها با ۳ تکرار بصورت میانگین± انحراف معیار ارائه شده است.

نتایج و بحث

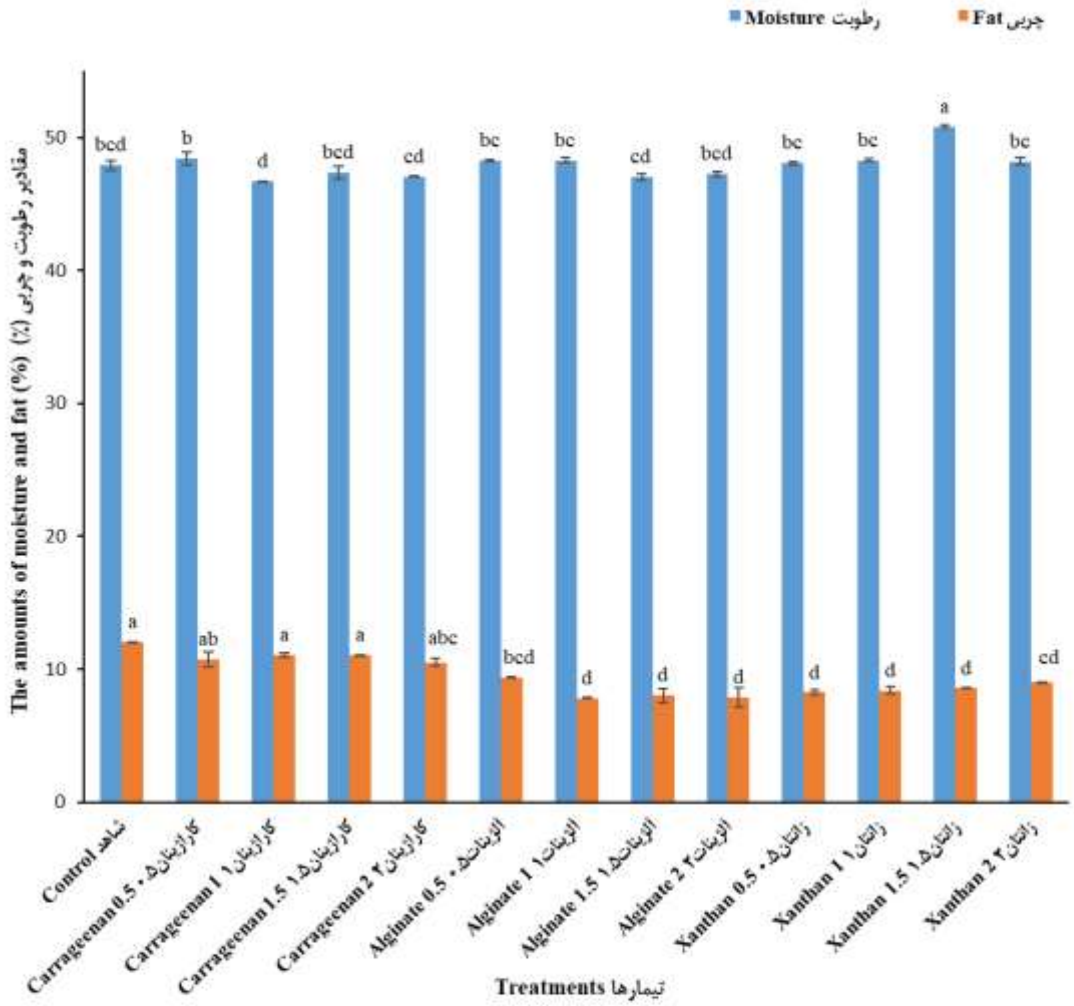
رطوبت و چربی

شکل ۱ مقادیر رطوبت و چربی تیمارهای مختلف ناگت میگو و شاهد (میگو سوخاری) را نشان می‌دهد. تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نشان نداد ($p > ۰/۰۵$). تیمار حاوی ۱/۵ درصد زانتان بالاترین مقدار رطوبت را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد ($p < ۰/۰۵$). افزایش درصد هیدروکلوئیدها اختلاف معنی‌داری در مقادیر رطوبت تیمارهای حاوی آلژینات و زانتان نشان نداد، در حالی‌که مقدار رطوبت در تیمارهای حاوی کاراژینان با افزایش مقدار درصد هیدروکلوئید افزایش معنی‌داری یافت ($p < ۰/۰۵$). احتمالاً شبکه‌ی ژلی تشکیل شده ناشی از برهم‌کنش صمغ کاراژینان و دمای انعقاد با به دام انداختن مولکول‌های آب، مانع از خروج رطوبت بیشتر در طی سرخ کردن می‌گردد که منجر به حفظ رطوبت بالاتر طی فرآیند شد. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2016) نیز گزارش دادند که افزودن کاراژینان و کنجاک باعث بهبود بافت و ویژگی‌های ساختاری ژل سوریمی شد.

براساس شکل ۱، نتایج مقادیر چربی نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان تیمار شاهد و تیمارهای حاوی درصدهای مختلف کاراژینان مشاهده نشد ($p > ۰/۰۵$). در حالی‌که، تیمارهای حاوی درصدهای مختلف آلژینات و زانتان مقدار چربی کمتری را در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند ($p < ۰/۰۵$). علت کاهش چربی در تیمارهای حاوی آلژینات و زانتان نسبت به تیمارهای حاوی کاراژینان، می‌تواند به

1- Load cell
2- Trigger force
3- Blade displacement

نحوه‌ی قرارگیری هیدروکلوئیدها در ارتباط با شبکه‌ی ژلی تشکیل شده مربوط باشد، بطوری‌که باعث حفظ و استحکام شبکه ژلی طی فرآیند سرخ کردن می‌شود و در نهایت جذب روغن را طی زمان سرخ کردن کاهش می‌دهد. نتایج حاصله با نتایج حق‌شناس و همکاران (Haghshenas *et al*., 2015) که اثر افزودن صمغ‌ها را بر ناگت میگو بررسی کرده بودند، همخوانی داشت. به‌نظر می‌رسد در تحقیق حاضر نیز، کاربرد صمغ‌های آلژینات و زانتان ارتباط مستحکم‌تری را با شبکه‌ی ژلی سوریمی تشکیل دادند، به‌طوری‌که مانع خروج رطوبت و جذب روغن بیشتر طی فرآیند سرخ کردن شدند. همانطور که نتایج نشان می‌دهد ارتباط مستقیمی میان افزایش رطوبت و کاهش چربی در تیمارهای حاوی زانتان مشاهده شد. نتایج این قسمت مشابه با نتایج گیبیس و همکاران (Gibis *et al*., 2015) و چن و همکاران (Chen *et al*., 2008) بود که به‌ترتیب با مطالعه بر روی کلوچه ماهی سرخ شده و ناگت ماهی گزارش کردند ارتباط معکوسی میان کاهش رطوبت و افزایش چربی میان تیمارها در طی فرآیند سرخ کردن عمیق وجود دارد.



شکل ۱- مقادیر رطوبت و چربی در تیمار شاهد (میگو سوخاری) و تیمارهای ناگت میگوی حاصل از سوریمی در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان

Fig. 1. Values of fat and water of control (battered and breaded shrimp) and shrimp nuggets obtained from surimi in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan

داده‌ها به‌صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. حروف مختلف (a-d) در نمودار، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($p<0.05$).

The data are expressed as the average of three replicates ± standard deviation. Different letters (a-c) indicate significant differences between treatments ($p<0.05$).

رطوبت تحت فشار، pH، چروکیدگی و بازده محصول

به‌نظر می‌رسد به‌دلیل تازگی مواد اولیه مورد استفاده (میگو و سوریمی) در تهیه ناگت‌های میگوی تولیدی، pH تیمارهای تولیدی پس از سرخ شدن نهایی، در محدوده خنثی قرار داشتند، اما مقدار pH، در تیمارهای ناگت میگوی تولید شده در مقایسه با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری نشان داد ($p < ۰/۰۵$) (جدول ۱). تیمار شاهد بالاترین و تیمار حاوی آلژینات ۱/۵ و ۲ درصد کمترین مقدار pH را نشان دادند. با افزایش مقدار کاراژینان و آلژینات، pH روند کاهشی و با افزایش مقدار زانتان، pH روند افزایشی نشان داد. دیمیرسی و همکاران (Demirci *et al.*, 2014) گزارش کردند که با افزودن صمغ‌های کاراژینان، زانتان و گوار در کوفته، مقدار pH نمونه‌ها، پس از فرآیند سرخ کردن افزایش یافت که مطابق با نتایج حاصل از افزودن صمغ‌های کاراژینان و آلژینات به ناگت میگو در تحقیق حاضر بود. تغییرات pH بر خواص بافت پیوندی و ماهیت پروتئین‌های میوفیبریل مؤثر بوده و درنتیجه تغییر میزان pH موجب تغییر آب‌گریزی و تغییر خواص کاربردی پروتئین‌ها می‌گردد (Das *et al.*, 2011).

میان میزان جذب روغن، از دست رفتن رطوبت و ایجاد چروکیدگی در محصولات غذایی سرخ شده ارتباطی خطی وجود دارد و بطور کلی، میان میزان چروکیدگی و مقدار افت رطوبت محصول ارتباط مستقیمی موجود است (Jamshidi & Shabanpour, 2014). تشکیل و انبوهش شبکه ژلی از یک طرف و دناتوره شدن پروتئین‌ها از طرف دیگر نیز بر مقدار چروکیدگی محصول مؤثر می‌باشند (Nguyen, 2009). بالاترین میزان چروکیدگی در تیمار شاهد مشاهده شد ($p < ۰/۰۵$). هر چند که با توجه به نتایج رطوبت و چربی، انتظار می‌رفت صمغ کاراژینان نسبت به صمغ‌های آلژینات و زانتان، اثر کمتری بر مقدار چروکیدگی داشته باشد، اما اختلاف معنی‌داری در تیمارهای حاوی درصدهای مختلف صمغ مشاهده نشد ($p > ۰/۰۵$). به‌نظر می‌رسد صمغ‌ها در ترکیب با شبکه‌ی ژلی تشکیل شده، اثر مناسبی بر ممانعت از خروج رطوبت طی فرایند سرخ کردن نهایی و کاهش چروکیدگی نسبت به تیمار شاهد شدند. به‌طور کلی، به‌دلیل شبکه‌ی ژلی نسبتاً مستحکمی که طی فرآیند خرد کردن پروتئین‌ها در نمک و فرآیند قوام‌یابی تشکیل شده بود، مولکول‌های آب تبخیر شده طی فرایند سرخ کردن قادر به خروج از شبکه‌ی ژلی نبوده و مانع از ایجاد چروکیدگی در تیمارهای تولیدی شدند.

بازده محصول یکی از شاخص‌های مهم محصولات لعاب‌دهی و سوخاری شده است که با مقدار وزن نهایی محصول ارتباط مستقیمی دارد و برای مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان از نظر اقتصادی حائز اهمیت است (Das *et al.*, 2008). نتایج بازده محصول نشان داد که تیمارهای ناگت میگو تولیدی در مقایسه با تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری نشان ندادند ($p > ۰/۰۵$). براساس نتایج حاصل، به‌نظر می‌رسد عملکرد هیدروکلوئیدهای استفاده شده و درصدهای مختلف آن‌ها، در مقدار بازده محصول یکسان بوده است. از آنجا که اختلاف معنی‌داری در مقادیر رطوبت تیمار شاهد و تیمارهای حاوی صمغ مشاهده نشده بود (به استثناء تیمار حاوی ۱/۵ درصد زانتان)، نتایج حاصل از بازده را علاوه بر اثر مقادیر رطوبت، می‌توان به اثر پوسته سوخاری نیز نسبت داد. پوسته سوخاری به‌عنوان یک عایق مناسب در مقابل از دست رفتن رطوبت و کاهش وزن محصول عمل می‌کند که می‌تواند به‌دلیل ژلاتینه شدن نشاسته‌ی موجود در آرد سوخاری باشد (Kwaw *et al.*, 2017). در نتیجه، مقادیر بازده محصول، اختلاف معنی‌داری میان تیمار شاهد و سایر تیمارها نشان نداد.

رطوبت تحت فشار نسبت معکوسی با ظرفیت نگهداری آب دارد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقدار رطوبت تحت فشار اختلاف معنی‌داری میان تیمار شاهد در مقایسه با سایر تیمارها نشان نداد ($p > ۰/۰۵$). تنها تیمار ناگت میگو حاوی ۲ درصد آلژینات رطوبت تحت فشار کمتر، یا به بیان دیگر ظرفیت نگهداری آب بالاتری را نسبت به شاهد نشان داد ($p < ۰/۰۵$). در مطالعه حاضر به استثناء تیمار حاوی ۲ درصد آلژینات، در سایر تیمارها ارتباط مستقیمی میان بازده محصول و ظرفیت نگهداری آب مشاهده شد، همانطور که داس و همکاران (Das *et al.*, 2008) بیان نمودند میزان بازده محصول ارتباط مستقیمی با ظرفیت نگهداری آب دارد. به‌نظر می‌رسد بازده محصول در تیمارهای حاصل چندان متأثر از هیدروکلوئیدهای افزوده شده به بافت سوریمی نبوده است و همانطور که در بحث مقادیر بازده بیان شد، پوسته سوخاری نیز در ممانعت از خروج رطوبت مؤثر بوده که در نهایت بر ظرفیت نگهداری آب اثر گذاشته و سبب ایجاد عدم تغییر معنی‌دار در مقادیر آن شده است. داس و همکاران (Das *et al.*, 2008) با مطالعه اثر خمیر سویا و گرانول سویا بر کیفیت ناگت گوشت بیان نمودند که میزان بازده در تیمارهای آزمایشی، مشابه یا بالاتر از تیمار شاهد بود که دلیل آن را ظرفیت نگهداری آب بالای گوشت طی فرآیند پخت اعلام کردند که با نتایج مطالعه حاضر مشابهت داشت.

جدول ۱- مقادیر رطوبت تحت فشار، pH، چروکیدگی و بازده محصول در تیمار شاهد (میگو سوخاری) و تیمارهای ناگت میگوی حاصل از سوریمی در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان

Table 1- Values of express water, pH, shrinkage and product yield of control (battered and breaded shrimp) and shrimp nuggets obtained from surimi in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan

تیمار Treatment	درصدهای هیدروکلوئید Hydrocolloids percentage	رطوبت تحت فشار Express water (%)	pH	چروکیدگی Shrinkage (%)	بازده محصول Product yield (%)
شاهد Control	-	**7.0±12.22^{a}**	**6.0±95.01^{a}**	**8.4±49.70^{a}**	**91.1±81.09^{abc}**
کاراژینان Carrageenan	0.5	6.0±19.01^{ab}	6.0±77.01^{e}	-1.0±39.85^{b}	90.0±55.37^{bc}
	1	6.0±85.01^{ab}	6.0±85.01^{b}	-1.1±86.03^{b}	91.0±34.18^{abc}
	1.5	8.1±14.51^{a}	6.0±80.01^{cd}	0.0±01.56^{b}	90.01±49.11^{c}
	2	6.0±02.16^{ab}	6.079.01^{cd}	1.1±09.1^{ab}	93.10±32.46^{ab}
آلژینات Alginate	0.5	6.0±82.06^{ab}	6.0±78.01^{de}	0.0±78.43^{b}	93. ±83.50^{a}
	1	6.0±62.21^{ab}	6.0±74.01^{f}	-1.0±11.37^{b}	93.0±14.32^{ab}
	1.5	6.0±11.09^{ab}	6.0±60.01^{i}	0.0±01.66^{b}	91.0±87.41^{abc}
	2	4.0±44.19^{ab}	6.0±61.01^{i}	-1.0±27.97^{b}	91.0±82.45^{abc}
زانتان Xanthan	0.5	6.0±01.29^{ab}	6.0±67.01^{h}	-2.1±54.30^{b}	93.1±14.35^{ab}
	1	6.0±13.12^{ab}	6.0±71.0^{g}	-0.1±55.01^{b}	92.0±10.13^{abc}
	1.5	6.0±16.32^{ab}	6.0±80.01^{b}	0.0±88.6^{b}	92.0±17.34^{abc}
	2	7.0±13.51^{a}	6.0±79.0^{cd}	-1.0±30.65^{b}	92.0±19.35^{abc}

داده‌ها به‌صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. حروف مختلف (a-c) در هر ردیف و ستون، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($p<0.05$).

The data are expressed as the average of three replicates ± standard deviation. Different letters (a-c) in each row and column indicate significant differences between treatments ($p<0.05$).

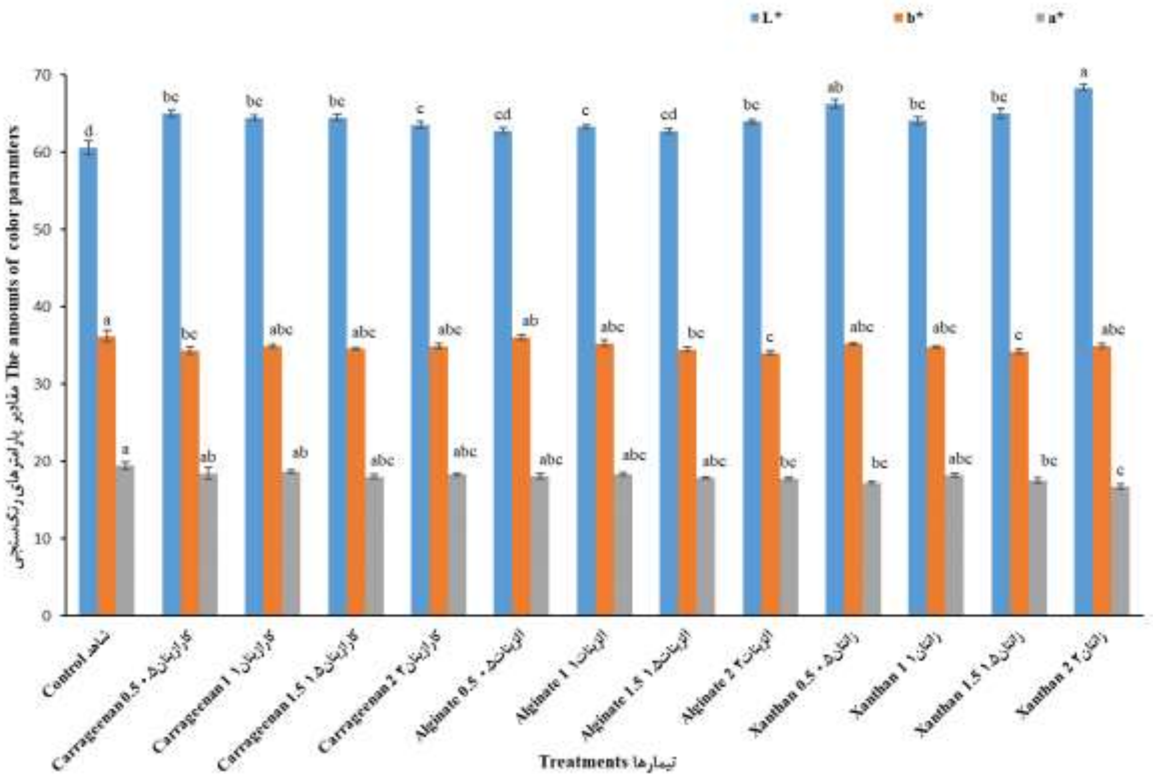
رنگ‌سنجی

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که بر میزان بازارپسندی محصولات لعاب‌دهی و سوخاری شده مؤثر است، رنگ نهایی این محصولات می‌باشد. طی فرآیند سرخ‌کردن محصولات لعاب‌دهی و سوخاری شده واکنش‌های شیمیایی مختلفی از قبیل دناتوره شدن پروتئین‌ها، ژلاتینه شدن نشاسته و واکنش قهوه‌ای شدن لعاب و پوشش آرد سوخاری رخ می‌دهد که کلیه این واکنش‌ها، باعث ایجاد تغییرات پیچیده در رنگ می‌گردند (Das *et al.*, 2011). براساس نتایج ارائه شده در شکل ۲، کلیه‌ی شاخص‌های رنگ‌سنجی روشنایی، قرمزی و زردی در تیمارهای مختلف نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان دادند ($p < ۰/۰۵$). بالاترین مقدار شاخص روشنایی در تیمار حاوی ۲ درصد زانتان و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد مشاهده شد. سایر تیمارها نیز مقدار روشنایی بالاتری را در مقایسه با تیمار شاهد نشان دادند. به نظر می‌رسد روشنایی پوسته متأثر از رنگ روشن ناگت‌های میگو (سوریمی) نیز بود که در مقایسه با رنگ صورتی تیمار شاهد (میگو)، پوسته ناگت‌های میگو روی زمینه‌ای با رنگ روشن‌تر قرار گرفتند، که با توجه به دانه‌بندی پوشش سوخاری، رنگ زمینه‌ی تیمارها تا حدودی توسط دستگاه رنگ‌سنج تشخیص داده شده و منجر به افزایش روشنایی رنگ کل ناگت‌ها نسبت به تیمار شاهد شد. هر دو تیمارهای شاهد و تیمارهای حاوی کاراژینان مقادیر شاخص‌های قرمزی و زردی بالاتری را در مقایسه با تیمارهای حاوی آلژینات و زانتان نشان دادند. از آنجا که اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ‌سنجی از سطح رویی و سوخاری شده تیمارهای تولیدی انجام گرفت، تغییرات شاخص‌های رنگی حاصل، ناشی از اثر فرآیند سرخ کردن نیز می‌باشند. مطالعات گذشته نیز کاهش شاخص روشنایی و افزایش شاخص قرمزی و زردی را در محصولات سوخاری شده پس از سرخ کردن مقدماتی گزارش کردند (Moradi *et al.*, 2009).

بافت‌سنجی

چسبندگی[1] بافت به معنی تغییر شکل رخ داده طی گاز زدن محصول می‌باشد (Noordin *et al.*, 2014). در تیمارهای ناگت میگو تولیدی، تیمارهای حاوی ۲ درصد آلژینات بالاترین و تیمار شاهد، تیمارهای حاوی ۲ درصد زانتان، ۰/۵ درصد آلژینات، و ۱ و ۲ درصد کاراژینان در یک رده قرار داشته و کمترین مقدار چسبندگی را نشان دادند ($p < ۰/۰۵$). به نظر می‌رسد این نتیجه ناشی از وجود مقادیر بالاتر رطوبت در تیمارهای حاوی صمغ زانتان و کاراژینان بود. حق‌شناس و همکاران (Haghshenas *et al.*, 2015) با بررسی تاثیر افزودن بتاگلوکان و کربوکسی متیل سلولز بر ویژگی های حسی و فیزیکی ناگت میگوی فراسودمند دریافتند نمونه‌های حاوی این دو نوع هیدروکلوئید کمترین میزان چسبندگی را نشان دادند که مطابق نتایج مطالعه حاضر بود، به‌طوری‌که مؤثر بودن هیدروکلوئیدها بر کاهش میزان چسبندگی بافت فرآورده را ثابت می‌کند.

1- Adhesion



شکل ۲- مقادیر شاخص‌های رنگ‌سنجی در تیمار شاهد (میگو سوخاری) و تیمارهای ناگت میگوی حاصل از سوریمی در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان

Fig. 2. Values of color analysis of control (battered and breaded shrimp) and shrimp nuggets obtained from surimi in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan

داده‌ها به‌صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. حروف مختلف (a-c) در نمودار، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($p<0.05$).

The data are expressed as the average of three replicates ± standard deviation. Different letters (a-c) indicate significant differences between treatments ($p<0.05$).

در فاکتورهای ارزیابی بافت، فاکتور تغییر شکل[1] برای ارزیابی قابلیت شکست استفاده می‌شود. مقدار یا توانایی تغییر شکل، ارتباط مستقیمی با تردی پوسته دارد (Bechtel *et al*., 2018). در مطالعه حاضر، تغییرات معنی‌داری در فاکتور تغییر شکل میان تیمار شاهد و سایر تیمارها مشاهده نشد ($p > ۰/۰۵$)، به‌طوری‌که تغییرات تابع روند خاصی نبود. در مطالعه فیله ماهی سوخاری شده، مرادی و همکاران (Moradi *et al*., 2009) گزارش کردند که شاخص تغییر شکل پس از سرخ کردن مقدماتی دچار افزایش شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت ندارد.

خاصیت فنریت[2] یکی از ویژگی‌های مهم و شناخته شده محصولات قوام‌یابی شده است و به معنای توانایی محصول در بازگشتن به حالت اولیه هنگام فشردن است (Noordin *et al*., 2014). در مطالعه حاضر تیمارهای حاوی ۲ درصد کاراژینان مقدار فنریت بالاتری نسبت به تیمارهای شاهد، ۱/۵ درصد کاراژینان، ۱/۵ و ۲ درصد آلژینات نشان دادند ($p < ۰/۰۵$)، در حالی‌که سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان ندادند ($p > ۰/۰۵$). تغییرات ساختاری که در سطح ناگت میگو طی فرآیند سرخ کردن مقدماتی در روغن عمیق رخ می‌دهد، باعث تشکیل حباب‌های کوچک و افزایش پف‌کردگی و درنتیجه افزایش میزان شاخص فنریت در بافت سوریمی می‌شود. علاوه بر آن، ژلاتینه شدن نشاسته‌ی موجود در پوسته سوخاری سدی را مقابل خروج حباب‌های تشکیل شده در بافت سوریمی تشکیل می‌دهد که منجر به افزایش حجم فرآورده و در نتیجه افزایش شاخص فنریت می‌گردد (Chen *et al*., 2021). به‌نظر می‌رسد که صمغ کاراژینان نسبت به صمغ‌های آلژینات و زانتان، برهمکنش‌های بالاتری با پروتئین‌های میوفیبریل تشکیل داد، به‌نحوی‌که مانع خروج بیشتر حباب‌های تشکیل شده گردید و در نتیجه شاخص فنریت در این تیمار بالاتر از سایر تیمارها

1- Deformation

2- springiness

شد. پارک و همکاران (Park *et al*., 2008) گزارش کردند که هرچه میزان چسبندگی ژل تولیدی بیشتر باشد، میزان فنریت نیز افزایش می‌یابد. در این راستا، آنتونووا و همکاران (Antonova *et al*., 2003) در تحقیقی که روی ناگت مرغ سرخ شده انجام دادند، نشان دادند که ارتباط مستقیمی میان قدرت تشکیل ژل و شاخص‌های رئولوژی بافت محصول مانند سختی، نیروی برشی و خاصیت ارتجاعی وجود دارد.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های بافت‌سنجی در تیمار شاهد (میگو سوخاری) و تیمارهای ناگت میگوی حاصل از سوریمی در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان

Table 2- Values of texture analysis indices in control (battered and breaded shrimp) and shrimp nuggets obtained from surimi in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan

تیمار Treatment	درصدهای هیدروکلوئید Hydrocolloids percentage	چسبندگی Adhesion (%)	تغییر شکل Deformation (%)	فنریت Springiness (mm)	سختی Hardness (N)
شاهد Control	-	55.5±7.42^{b}	14.0±9.01^{a}	128.8±50.08^{b}	3200.681±16.47^{a}
کاراژینان Carrageenan	0.5	48.7±2.29^{b}	14.0±9.01^{a}	223.31±66.06^{ab}	2506.198±83.96^{ab}
	1	49.3±2.43^{b}	14.0±9.01^{a}	238.57±71.84^{ab}	1966.242±16.11^{bcd}
	1.5	68.8±4.90^{ab}	15.12±8.10^{a}	121.29±25.01^{b}	2308.60±66.78^{abc}
	2	72.7±5.83^{ab}	14.0±9.01^{a}	289.47±76.12^{a}	1879.147±66.83^{bcde}
آلژینات Alginate	0.5	48.4±8.29^{b}	14.0±8.01^{a}	202.19±47.96^{ab}	1591.8±33.98^{bcdef}
	1	67.5±5.55^{ab}	14.0±9.01^{a}	172.25±37.06^{ab}	750±90.85^{def}
	1.5	72.5±8.57^{ab}	14.0±7.01^{a}	121.24±23.12^{b}	479.46±50.6^{f}
	2	112.30±3.84^{a}	14.0±7.01^{a}	105.14±25.32^{b}	537.55±50.71^{f}
زانتان Xanthan	0.5	64.10±19.97^{ab}	14.0±9.01^{a}	159.24±16.17^{ab}	1525.105±50.09^{bcdef}
	1	59.10±38.51^{ab}	14.0±8.01^{a}	207.28±38.43^{ab}	1248.181±33.24^{cdef}
	1.5	78.3±17.65^{ab}	14.0±7.01^{a}	203.8±75.98^{ab}	743.42±66.35^{ef}
	2	44.10±13.13^{b}	14.0±9.01^{a}	121.11±16.95^{b}	1157.138±83.40^{cdef}

داده‌ها به‌صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. حروف مختلف (a-f) در هر ردیف و ستون، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد (p<0.05).

The data are expressed as the average of three replicates ± standard deviation. Different letters (a-f) in each row and column indicate significant differences between treatments (p<0.05).

طبق نتایج جدول ۲، مقدار فاکتور سختی[1] در تیمار شاهد بالاتر از تیمارهای حاوی درصدهای مختلف آلژینات و زانتان بود (p < ۰/۰۵). تیمارهای حاوی درصدهای مختلف کاراژینان در مقایسه با شاهد، اختلاف معنی‌داری را در فاکتور سختی نشان ندادند (p > ۰/۰۵). تحقیقات گذشته ثابت کردند که با افزایش میزان رطوبت ماده غذایی، میزان سختی آن کاهش می‌یابد و کمترین میزان شاخص سختی در محصولی دیده می‌شود که بالاترین مقدار رطوبت را دارا باشد (Varela & Fiszman, 2011). بطور کلی رابطه معکوسی میان میزان رطوبت ماده غذایی و میزان شاخص سختی دیده شده بود. در تحقیق حاضر، رابطه‌ی معکوس میان سختی و رطوبت در تیمارهای حاوی آلژینات و زانتان مشاهده شد. در نتیجه‌ی دمای ناشی از فرآیند انعقاد و سرخ کردن اولیه، ابتدا، پروتئین‌های میوفیبریل منبسط شده و پیوندهای دی‌سولفید پلیمریزه شده‌ی بیشتری تشکیل می‌دهند، که پلیمریزه شدن این پیوندها، در نهایت منجر به متراکم شدن و منقبض شدن پروتئین‌های میوفبریل و افزایش سختی بافت می‌شوند (Chen *et al*., 2021). در دمای ناشی از فرایند آماده‌سازی، پروتئین‌های محلول در نمک حل شده و تحت شرایط کم فشار با مولکول‌های آب ترکیب می‌شوند. به عبارت دیگر، سوریمی با سرعت بالاتری به مرحله‌ی دهیدراته شدن رسیده و پوسته سختی را در سطح خود تشکیل می‌دهد (Chen *et al*., 2021).

1- Hardness

آنالیز حسی

نتایج ارزیابی حسی ناگت‌های تولیدی در مقایسه با تیمار شاهد، در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. اولین معیار ارزیابی کیفیت حسی محصولات سوخاری شده، ویژگی‌های پوسته سوخاری آن است که اثر مهمی بر میزان پذیرش محصول دارد. با اعمال فرآیند سوخاری کردن، پوسته‌ای با بافت ترد و نارنجی رنگ روی محصول شکل می‌گیرد که به‌عنوان سدی مقابل کاهش رطوبت فرآورده عمل می‌کند (Kwaw *et al*., 2017). از نظر شکل ظاهری اختلاف معنی‌داری میان تیمار شاهد و تیمارهای ناگت میگو تولیدی مشاهده نشد (p > ۰/۰۵)، زیرا کلیه‌ی تیمارها در معرض فرآیند آردزنی اولیه، لعاب‌دهی و پوشش‌دهی با آرد سوخاری قرار گرفته بودند.

از آنجاکه هدف بهینه‌سازی بافت ناگت میگو با کاربرد هیدروکلوئیدها بود، در بررسی آنالیز حسی، تیماری که نزدیک‌ترین نتیجه به تیمار شاهد (میگو سوخاری) را دارا بود به‌عنوان تیمار بهینه در نظر گرفته شد.

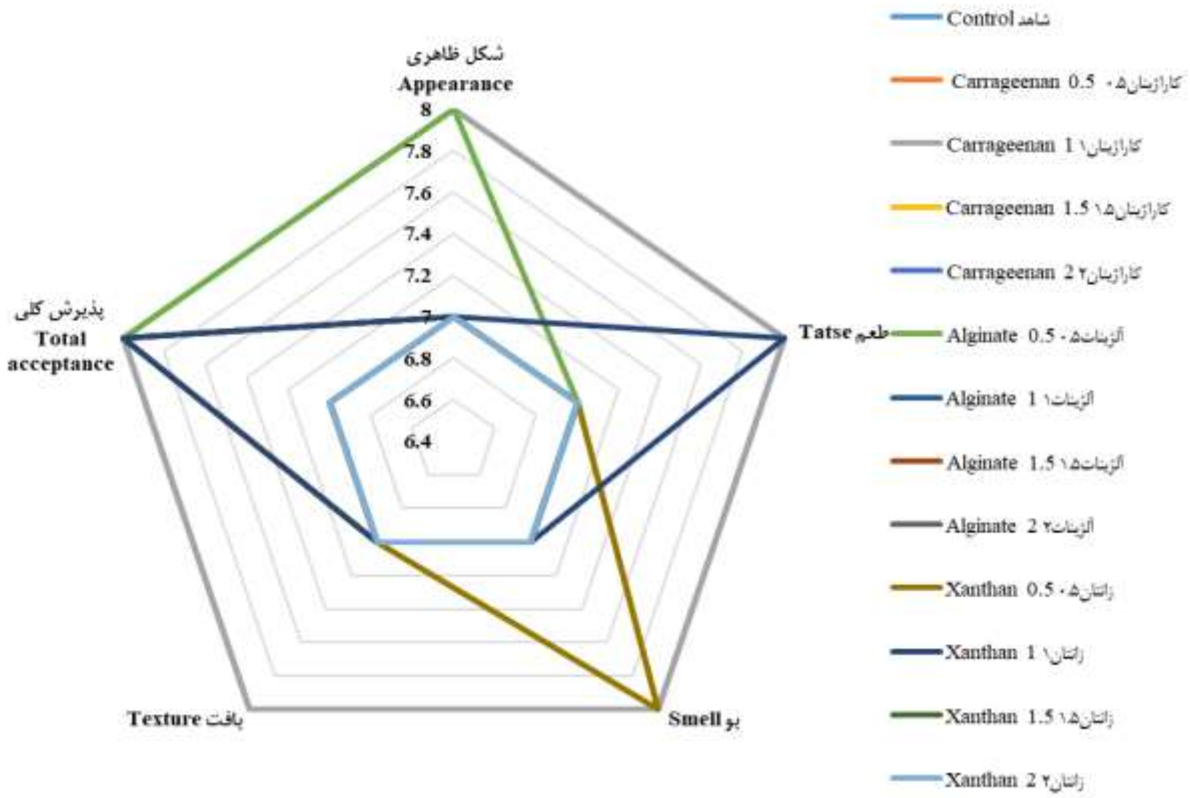
جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آنالیز حسی در تیمار شاهد (میگو سوخاری) و تیمارهای ناگت میگوی حاصل از سوریمی در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان

Table 3- Values of sensory analysis in control (battered and breaded shrimp) and shrimp nuggets obtained from surimi in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan

تیمار Treatment	درصدهای هیدروکلوئید Hydrocolloids percentage	شکل ظاهری Appearance	طعم Taste	بو Smell	بافت Texture	پذیرش کلی Overall acceptance
شاهد Control	-	8.0±33.15[a]	8.0±9[ab]	8.0±46.16[ab]	8.0±13.8[ab]	8.0±40.13[ab]
کاراژینان Carrageenan	0.5	7.0±93.11[a]	7.0±40.13[bc]	7.0±60.19[c]	7.0±73.11[bc]	7.0±73.15[bcd]
	1	8.0±40.16[a]	8.0±53.13[a]	8.0±73.11[a]	8.0±73.11[a]	8.0±80.10[a]
	1.5	7.0±86.13[a]	7.0±80.10[bc]	8.0±45.10[abc]	7.0±66.12[bc]	7.0±73.15[bcd]
	2	7.0±93.11[a]	7.0±60.16[bc]	7.0±86.13[bc]	7.0±60.13[bc]	7.0±26.15[d]
آلژینات Alginate	0.5	8.0±80.09[a]	7.0±66.18[bc]	8.0±13.21[abc]	7.0±86.16[bc]	8.0±13.16[abc]
	1	8.0±75.10[a]	7.0±33.15[bc]	7.0±86.13[bc]	7.0±53.21[bc]	7.0±26.15[d]
	1.5	8.0±70.12[a]	7.0±66.12[bc]	7.0±86.13[bc]	7.0±53.21[bc]	7.0±40.19[cd]
	2	7.0±86.13[a]	7.0±53.13[bc]	7.0±73.15[bc]	7.0±66.12[bc]	7.0±33.23[cd]
زانتان Xanthan	0.5	8.0±33.12[a]	7.0±80.17[bc]	8.0±46.16[ab]	7.0±60.13[bc]	7.0±66.18[bcd]
	1	8.0±13.12[a]	7.0±66.15[bc]	7.0±86.19[bc]	8.0±51.12[bc]	7.0±66.27[bcd]
	1.5	7.0±93.15[a]	7.0±86.13[abc]	7.0±86.16[bc]	7.0±86.09[bc]	7.0±40.19[cd]
	2	7.0±93.15[a]	7.0±26.15[c]	7.0±73.18[bc]	7.0±33.12[c]	7.0±80.02[bcd]

داده‌ها به‌صورت میانگین سه تکرار ± انحراف معیار بیان شده‌اند. حروف مختلف (a-d) در هر ردیف و ستون، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ($p<0.05$).

The data are expressed as the average of three replicates ± standard deviation. Different letters (a-d) in each row and column indicate significant differences between treatments ($p<0.05$).



شکل ۳- مقادیر شاخص‌های آنالیز حسی در تیمار شاهد (میگو سوخاری) و تیمارهای ناگت میگوی حاصل از سوریمی در ترکیب با درصدهای مختلف کاراژینان، آلژینات و زانتان

Fig. 3. Values of sensory analysis in control (battered and breaded shrimp) and shrimp nuggets obtained from surimi in combination with different percentages of carrageenan, alginate and xanthan

تیمار حاوی ۱ درصد کاراژینان بالاترین امتیاز شاخص‌های طعم، بو، بافت و پذیرش کلی را نسبت به سایر تیمارهای حاوی صمغ‌های دیگر دارا بود ($p < ۰/۰۵$) در حالی‌که، اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. میزان پذیرش کلی برای ناگت‌های میگوی تولیدی در محدوده‌ی امتیازهای ۷/۲۶–۸/۸۰ بود که توسط ارزیابان بصورت "خیلی خوب" ارزیابی شده بود که پذیرش بالای ناگت‌های میگوی تولیدی را توسط ارزیابان نشان داد. اما به‌نظر می‌رسد، افزایش درصد هیدروکلوئیدها اثر کاهشی معنی‌داری بر مقدار پذیرش ناگت‌های میگو نشان داد به‌طوری‌که تیمارهای حاوی ۲ درصد کاراژینان کمترین مقدار پذیرش کلی را دریافت نمودند. همچنین، تیمار ۲ درصد زانتان کمترین امتیاز طعم و بافت را به خود اختصاص داد که دلیل آن می‌تواند به‌دلیل جذب بالای آب توسط صمغ زانتان باشد که منجر به تشکیل حالت ژله‌ای بیشتر و در نتیجه ایجاد بافتی نرم‌تر در هنگام جویدن در مقایسه با تیمار شاهد شد. برخلاف نتایج حاصل از این تحقیق، دمیرسی و همکاران (Demirci *et al*., 2014) کاهش معنی‌دار شاخص‌های حسی رنگ، طعم، سختی و پذیرش کلی را در نمونه‌های حاوی هیدروکلوئیدهای زانتان، گوار و کاراژینان گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

کاربرد هیدروکلوئیدهای آلژینات و زانتان در بافت سوریمی سبب کاهش معنی‌دار میزان چربی در فرآورده نهایی شدند. کلیه‌ی تیمارهای ناگت میگوی تولیدی، مقدار چروکیدگی کمتری را در مقایسه با میگو سوخاری نشان دادند. حضور کاراژینان و آلژینات در ارتباط با پروتئین‌های میوفیبریل سوریمی به‌ترتیب باعث افزایش فنریت و چسبندگی بافت ناگت‌های میگو شدند. شاخص‌های رنگ‌سنجی (L^*، a^* و b^*) در این مطالعه بیشتر تحت تأثیر فرآیند سرخ کردن قرار داشت. تیمار حاوی ۱ درصد کاراژینان بالاترین امتیاز شاخص‌های حسی را دریافت کرد و میزان پذیرش آن در محدوده‌ی میزان پذیرش تیمار شاهد قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل، صمغ کاراژینان اثر بهتری را نسبت به صمغ‌های آلژینات و زانتان بر بهبود بافت ناگت میگو نشان داد و به‌طور کلی، کاربرد مقدار ۱ درصد کاراژینان در این زمینه پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Antonova, I., Mallikarjunan, P., & Duncan, S.E. (2003). Correlating objective measurements of crispness in breaded fried chicken nuggets with sensory crispness. *Journal of Food Science*, *68*(4), 1308–1315. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09644.x
2. AOAC. (2002). *Official Methods of Analysis*. Cunnif, (Ed.), Gaithersburg, MD, pp. 3.
3. Bechtel, P.J., Bland, J.M., Woods, K., Lea, J.M., Brashear, S.S., Boue, S.M., & Bett-Garber, K.L. (2018). Effect of par frying on composition and texture of breaded and battered catfish. *Foods*, *7*(4), 46. https://doi.org/10.3390/foods7040046
4. Chen, Ch., Li, P., Hu, W., Lan, M., Chen, M., & Chen, H. (2008). Using HPMC to improve crust crispness in microwave-reheated battered mackerel nuggets: water barrier effect of HPMC. *Journal of Food Hydrocolloids*, *22*, 1334-1344. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.07.003
5. Chen, J., Lei, Y., Zuo, J., Guo, Z., Miao, S., Zheng, B., & Lu, X. (2021). The effect of vacuum deep-frying technology and raphanus sativus on the quality of surimi cubes. *Foods*, *10*(11), 2544. https://doi.org/10.3390/foods10112544
6. Das, A.K., Anjaneyulu, A.S.R., Gadekar, Y.P., Singh, R.P., & Pragati, H. (2008). Effect of full-fat soy paste and textured soy granules on quality and shelf-life of goat meat nuggets in frozen storage. *Journal of Meat Science*, *80*, 607-614. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.02.011
7. Das, R., Pawar, D.P., & Modi, V.K. (2011). Quality characteristics of battered and fried chiken: comparison of pressure frying and conventional frying. *Journal of Food Science Technology*, https://doi.org/10.1007/s13197-011-0350-z
8. Demirci, Z.O., Yılmaz, I., & Demirci, A.Ş. (2014). Effects of xanthan, guar, carrageenan and locust bean gum addition on physical, chemical and sensory properties of meatballs. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(5), 936-942. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0588-5
9. Emo, S.H., Kim, J.A., Son, B.Y., You, D.H., Han, J.M., Oh, J.H., Kim, B.Y., & Kong, C.S. (2013). Effects of carrageenan on the gelatinization of salt-based surimi gels. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *16*, 143-147. https://doi.org/10.5657/FAS.2013.0143
10. Galus, S., & Lenart, A. (2013). Development and characterization of composite edible films based on sodium alginate and pectin. *Journal of Food Engineering*, *115*(4), 459–465. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.006

11. Gibis, M., Schuh, V., & Weiss, J. (2015). Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties. *Journal of Food Hydrocolloids*, *45*, 236-246. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.11.021
12. Gulzar, S., & Benjakul, S. (2020). Impact of pretreatment and atmosphere on quality of lipids extracted from cephalothorax of Pacific white shrimp by ultrasonic assisted process. *Food Chemistry, 309*, e125732. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125732
13. Haghshenas, M., Hosseini, H., Nayebzadeh, K., Shabkoohi Kakesh, B., Mohmoudzadeh, M., & Komeyli Fonood, R. (2015). Effect of beta glucan and carboxymethyl cellulose on lipid oxidation and fatty acid composition of pre-cooked shrimp nugget during storage. *Journal of LWT-Food Science and Technology*, In Press. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.042
14. Hannan, M.A., Habib, K.A., Shahabuddin, A.M., Haque, M.A., & Munir, M.B. (2022). Frozen shrimp and other seafood-based value-added products. In: Post-Harvest Processing, Packaging and Inspection of Frozen Shrimp: A Practical Guide. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1566-6_13
15. Hauzoukim, Martin Xavier, K.A., Kannuchamy, N., Balange, A., & Gudipati, V. (2019). Development of enrobed fish products: Improvement of functionality of coated materials by added aquatic polymers. *Journal of Food Process Engineering*, *42*(3), e12999. https://doi.org/10.1111/jfpe.12999
16. Hasanpour, F., Hoseini, E., Motalebi, A.A., & Darvish, F. (2012). Effects of soy protein concentration and xanthan gum on physical properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, *11*, 518-530.
17. Heydari, S., Shabanpour, B., & Pourashouri, P. (2016). Effect of wheat and oat dietary fibers on quality and prevention of shrimp analogue products deformation during deep frying. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *14*(1), 207-217.
18. Huda, N., Seow, E.K., Normawati, M.N., Aisyah, N.N., Fazilah, A., & Easa, A.M. (2013). Effect of duck feet collagen addition on physicochemical properties of surimi. *International Food Research Journal*, *20*(2).
19. Jamshidi, A., & Shabanpour, B. (2014). The effect of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) added pre-dust and batter of Talang queenfish (*Scomberoides commersonnianus*) nuggets on the quality and reduction of oil uptake. *MINERVA BIOTECNOLOGICA*, *26*(1), 57-64.
20. Kwaw, E., Sackey, A.S., Apaliya, M.T., & Tchabo, W. (2017). Utilization of composite flours as breading agents for deep frying of chicken breast. *Journal of Food Measurement and Characterization, 11*, 1523-1530. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9531-4
21. Li, D., Prinyawiwatkul, W., Tan, Y., Luo, Y., & Hong, H. (2021). Asian carp: A threat to American lakes, a feast on Chinese tables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20*(3), 2968-2990. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12747
22. Moradi, Y., Bakar, J., Muhamad, S.S., & Man, Y.C. (2009). Effects of different final cooking methods on physico-chemical properties of breaded fish fillets. *American Journal Food Technology, 4*, 136–145.
23. Nguyen, B.E. (2009). Effects of methylcellulose on the quality and shelf-life of deep-fat fried and oven baked chicken nuggets. A Thesis in Food Science.
24. Nino, T., Sasidharan, A., Sabu, S., Sunooj, K.V., Pradhan, C., & Xavier, K.M. (2022). Effect of vacuum tumbling assisted marination on textural and sensory properties of deep-fried Indian white shrimp. *Indian Journal Fish, 69*(3), 100-107. https://doi.org/10.21077/ijf.2022.69.3.112765-12
25. Noordin, W.N., Shunmugam, N., & Huda, N. (2014). Application of salt solution and vacuum packaging in extending the shelf life of cooked fish balls for home and retail uses. *Journal of Food Quality, 13*(6), 444-452. https://doi.org/10.1111/jfq.12105
26. Núñez-Flores, R., Cando, D., Borderías, A.J., & Moreno, H.M. (2018). Importance of salt and temperature in myosin polymerization during surimi gelation. *Food Chemistry, 239*, 1226–1234. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.028
27. Park, Y.D., Yoon, K.S., & Lee, C.M. (2008). Thermal syneresis affected by heating schedule and moisture level in surimi gels. *Journal of Food Engineering and Physical Properties*, *73*, 103-107. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00644.x
28. Pourashouri, P., Shabanpour, B., Kordjazi, M., & Jamshidi, A. (2020). Characteristic and shelf life of fish sausage: fortification with fish oil through emulsion and gelled emulsion incorporated with green tea extract. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 100*(12), 4474-4482. https://doi.org/10.1002/jsfa.10488
29. Pourashouri, P., Shabanpour, B., Heydari, S., & Raeisi, S. (2022). Encapsulation of fish oil by carrageenan and gum tragacanth as wall materials and its application to the enrichment of chicken nuggets. *LWT*, *137*, 110334. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110334
30. Pourashouri, P., Chapela, M.J., Atanassova, M., Cabado, A.G., Vieites, J.M., & Aubourg, S.P. (2013). Quality loss assessment in fish-based ready-to-eat foods during refrigerated storage. *Grasasy Aceites*, *64*(1), 22-29.

31. Ramirez, J.A., Uresti, R.M., Velazquez, G., & Vazquez, M. (2010). Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Journal of Food Hydrocolloids*, *25*, 1842-1852. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.009
32. Shabanpour, B., Kashiri, H., Moloudi, Z., & Hoseininezhad, A.S. (2007). Effects of washing bouts and times on surimi quality prepared from common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Scientific Fisheries Journal 16*(1), 81-92.
33. Sun, X.D., & Holley, R.A. (2011). Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. Compr. *Review Food Science Food Safety*, *10*, 33–51. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00137.x
34. Varela, P., & Fiszman, S.M. (2011). Review: Hydrocolloids in fried food. *Journal of Food Hyrocolloids, 25,* 1801-1812. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.016
35. Yingchutrakul, M., Wasinnitiwong, N., Benjakul, S., Singh, A., Zheng, Y., Mubango, E., & Hong, H. (2022). Asian carp, an alternative material for surimi production: progress and future. *Foods*, *11*(9), 1318. https://doi.org/10.3390/foods11091318
36. Zhang, T., Li, Z., Wang, Y., Xue, Y., & Xue, C. (2016). Effects of konjac glucomannan on heat-induced changes of physicochemical and structural properties of surimi gels. *Food Research International*, *83*, 152-161. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.007